

第三十二届国际电线电缆年会

译 文 集

光纤光缆分册

电子工业部第二十三研究所情报室

“第三十二届国际电线电缆年会论文集”

译文集光纤光缆分册

1. 海底光缆光纤单元的设计和测试结果.....	1
2. 无金属圆柱形V槽光缆.....	11
3. 高强度光缆的设计、制造和测试.....	22
4. 光缆用防鼠和防雷护套.....	33
5. 用空气滞流排放光纤的最新方法.....	45
6. 单元型光缆的最近进展.....	51
7. 1.55 μ m低损耗单模光缆的制造、敷设和拼接.....	66
8. 1300nm下单模光缆的光学和机械性能.....	80
9. 耐热阻燃光缆的特性.....	91
10. 50公里、140Mbit/s实用单模光纤系统.....	100
11. 光纤低温附加衰减的分析.....	112
12. 光纤在埋置型光缆结构的弹性体中的压屈.....	125
13. 松缓冲套光缆的设计问题.....	140
14. 长跨距架空用光纤悬垂的非金属光缆.....	150
15. 用于1.3 μ m下的长跨距无金属架空光缆.....	169
16. 光纤和电力复合脐带电缆和深海采矿用光馈通器的研制	180
17. 圆柱形开槽光缆的端接.....	196
18. 在工厂里进行的光纤拼接.....	200
19. 高密度多芯塑料光连接器的设计和评价.....	211
20. 单模光纤的现场拼接系统.....	220
21. 计算机化的光纤特性测量.....	230
22. 对安装在英国电信公司通信网中的单模光缆再生段进行 远端时域带宽测量.....	237
23. 用光脉冲相对延迟技术测量松管二次被复光纤热特性的 实验讨论.....	251
24. 光纤复合架空地线的现场试验.....	263

海底光缆光纤单元的设计和测试结果 摘 要

本文叙述两种用于海底光缆的光纤单元的设计和测试结果。一种为埋置进硅酮橡胶中的光纤单元。由于在这种光纤单元中很难产生微弯，所以光损耗的变化很小。例如，温度系数大约是 $0.2\text{mdB/km/}^{\circ}\text{C}$ 。文中还叙述了连续长度为 30km 的这种光纤单元的制造结果。另一种光纤单元，因为每根光纤都包以软性的硅酮凝胶和硬性的尼龙护套，而且这六根光纤是绞合起来的，因此具有应变松弛效应。应变松弛效应对降低海底光缆用光纤需要达到的筛选水平将起好的作用。在我们试制的光纤单元上得到了约 0.2% 的应变松弛效应。可以预计，所需的筛选水平将降低约 0.6% 。

一、引 言

随着新的电信业务（如数据传输和视频通信）与通常的电话和电报业务一起出现，对国际电信的要求正在日益增加。因此，要求大容量的海底电缆系统。可是，从技术和经济的观点来看，用常规的同轴电缆来实现这样的系统还存在着很多问题，而且要使它们适用于数字传输也很困难。

另一方面，最近在发展 $1.3\mu\text{m}$ 单模光纤方面已经取得迅速的进展，它具有很多优点，例如损耗低、带宽宽、直径细。采用 $1.3\mu\text{m}$ 的单模光纤有希望实现用小直径光缆的长中继距离大容量海底光缆系统。

最近，好几个国家已提出和研制了各种不同的海底光缆结构⁽¹⁻⁵⁾。在所有这些光缆结构中，共同点是：光纤单元（若干光纤的组合结构）放置在光缆中央；抗水压层、增强元件层、防潮层和绝缘层则设置在光纤单元外，以保护光纤单元免受各种外力和潮气渗透的影响。

实现高可靠海底光缆的最重要一点是保护纤细的光纤之机械性能免受长期严酷海底环境的影响。因此，设计和检验光纤单元是重要的。

本文通过弄清光纤单元的设计要求，提出了两种类型的光纤单元；还报导了试制光纤单元的测试结果。

二 海 底 光 缆

海底光缆将在严酷的机械条件下操作，因为它们要用电缆船敷设到深海中。例如，跨洋海底电缆的最大海深是8000米，它等效于 $800\text{kg}/\text{cm}^2$ 的水压。在电缆敷设作业中，海底电缆还要受到好几吨的张力。海底光缆在这些严酷条件下必须是稳定的。

跨洋海底光缆的典型设计要求示于表1。图1则示出了考虑了这些要求的海底光缆结构。这种光缆独特的优点是直径细，厚壁铝管由三根扇形的铝线组合在光纤单元上而构成，因此可以方便地制成大长度的光缆。在本文中要探讨的光纤单元用到了这种海底光缆中。

表1 海底光缆的设计要求

最大海深	8000m
最大水压	$800\text{kg}/\text{cm}^2$
抗拉强度	$\geq 8\text{ton}$
电(光)缆模量	$\geq 19\text{km}$
沉降速度	$\geq 1000\text{m}/\text{h}$
允许最小弯曲半径	$\leq 1\text{m}$
光纤数	最多六根
最大供电电压	$\pm 10\text{kv}$
直流电阻	$\leq 0.5\Omega/\text{km}$

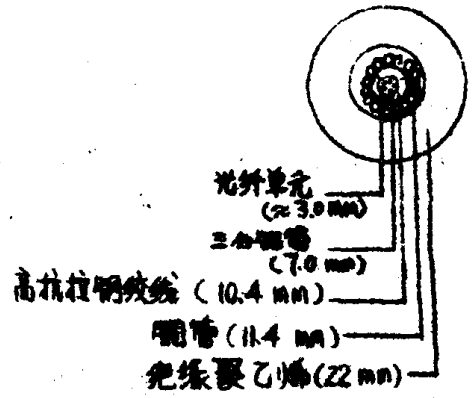
三 光纤单元的设计要求

3.1 光纤

表2示出了用于海底光缆的光纤技术条件。这些值是考虑将光纤用于 $1.3\mu\text{m}$ 下单模传输而选择的。

3.2 外径

海底光缆在光缆敷设作业或光缆修理打捞作业过程中将受到很大的张力变动，并且将反复受到伸展和收缩。如果光纤单元和光缆不是统一的，它们就会分别移动。光纤单元在局部就会受到比光缆更大的应变，故光纤可能断裂。因此，光纤单元和光缆的一体化是重要的。



为了使光纤单元和光缆一体化，我们选择了一种方法，即使光纤单元的外径稍小于三分铝管的内径，并在光纤单元和铝管之间填充进粘结材料。这样，光纤单元的外径就以稍小于三分铝管内径的方式被固定下来。

表2 光纤的技术条件

项 目	指 标 值
纤芯直径 (μm)	9μm (额定值)
包层直径 (μm)	125μm ± 2.4%
Δ (%)	0.25 ~ 0.35%
截止波长 (μm)	1.10 ~ 1.28μm
损耗 (dB/km, 1.3μm)	≤ 0.5 dB/km
筛选应变 (%)	2.0%

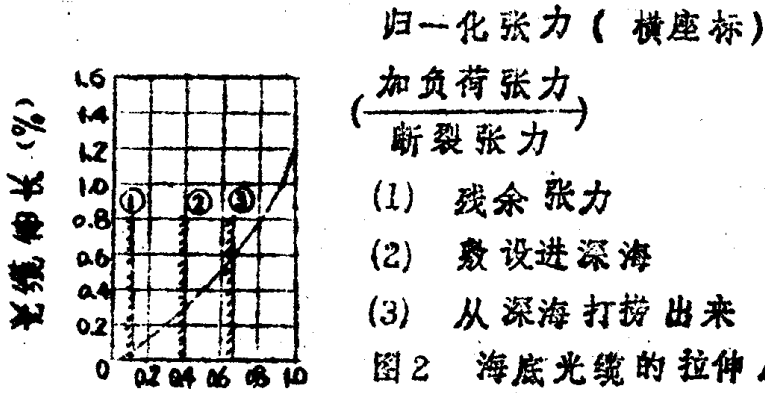


图2 海底光缆的拉伸应变特性

3.3 光纤的强度

图2示出了图1结构海底光缆的拉伸应变特性。由图可以看出，

光缆敷设到深海时，光缆的伸长应变将为 $0.3 \sim 0.4\%$ ，而在光缆从深海打捞起来的两天期间则达 $0.6 \sim 0.7\%$ 。另外，光缆敷设后的残余应变将是 0.1% 。光纤单元将受到那样的应变，因为光纤单元和光缆是一体化的。由于光纤具有静态疲劳特性，所以，海底光缆用光纤所需的强度必须考虑上述应变和时间的因素来决定。为了确保光纤所需的强度，将进行筛选试验。图3示出了所需的筛选试验水平和光纤应变。从图3可以看出，海底光缆中用的光纤所需的筛选试验水平确定为 2% 的应变。

3.4 水的传播

如果光缆发生损坏，海底光缆的断点就会暴露于高水压中。如果海底光缆截面中存在空隙，就会沿光缆的轴向发生水的传播，而有水传播的海底光缆中光纤的强度可能降低。因此，海底光缆的截面应加以填充，以防止光缆发生损坏时水的传播。相应地，光纤单元必须用塑料填充。

3.5 水压

当海底光缆敷设在 8000 米海深时，铝管的内径将缩小大约 $10\mu\text{m}$ 。这样，因为为了防止光缆发生损坏时水的传播，在光缆中不存在空隙，所以光纤单元将受到内部压力的增加。内压增加的程度因填充材料而异，但通常用塑料来填充空隙，这样，内压增加的程度将小于作用在光缆上的外部水压的 10% 。

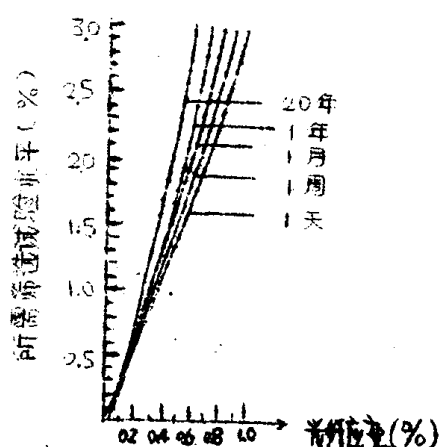


图3 光纤应变和所需筛选水平的关系。

3.6 光纤接头

光纤单元的制造长度将为 $30 \sim 50\text{km}$ 左右。可是，要制造这么长的连续长度光纤，从而使这些光纤的传输特性和机械性能得到满足，这是困难的。因此，研制一种用于光纤接头点的小巧的保护方法并将其容纳进光纤单元中，这是很重要的。接头点处的光纤强度要求能通过 2% 的伸长应变，因为它们被包括在光纤单元之中。

3.7 最小弯曲半径

海底光缆的最小允许弯曲半径是1米，这是根据电缆船的电缆敷设机械决定的。这一弯曲半径不影响光纤单元的传输特性。可是，在光缆的耦合装置（用来连接海底光缆和光中继器）处将使用尾巴光缆，而尾巴光缆的最小半径是30mm。因此，光纤单元的最小允许弯曲半径是30mm，因为光纤单元在光缆耦合装置处穿过尾巴光缆。

四 光纤单元的设计

根据设计要求，设计和试制了两种光纤单元。图4示出了一种光纤单元（1型单元），其中，六根波复光纤绞合于中心抗拉元件上，并埋置进硅橡胶中。考虑到传输特性的稳定性和光缆端接时操作的方便，所以采用尼龙涂复光纤。尼龙涂复的外径选在0.6mm，这样，光纤单元的外径就不会大。采用硅橡胶作为光纤单元的填充材料是考虑其缓冲效应和光缆端接时容易分离光纤。由于在这种光纤单元中很难产生微弯，所以光纤的传输特性将是稳定的。

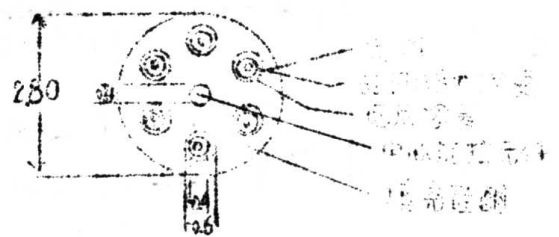


图4 埋入硅橡胶型光纤单元（1型）的截面

图5示出了另一种光纤单元（2型单元），其中，每根一次波复光纤都用极软的硅酮凝胶和硬质的尼龙护套所包复，这六根光纤再绞合到中心抗拉元件上。中心抗拉元件和六根尼龙护套光纤之间的空隙，以及它们的外部，都用塑料填充以防止水的传播。因为在这种光纤单元中，当光纤单元受到伸长时，光纤会向光纤单元的中心下沉，所以可以获得应变松弛效应。光纤因应变松弛效应而在硅酮凝胶层中下沉的量（ u ）可以用方程1表示：

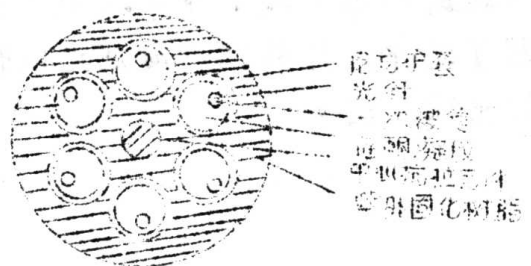


图5 具有应变松弛效应的光纤单元的截面

$$u = - \frac{2 \cdot \epsilon_u \cdot E \cdot A}{\pi \cdot E_s \cdot r \left(1 + \left(\frac{p}{2\pi r} \right)^2 \right)} \ln \frac{a}{D} \dots\dots\dots(1)$$

式中： ϵ_u ：光纤单元的应变； E ：光纤的杨氏模量；
 A ：光纤的截面积； E_s ：硅酮凝胶的杨氏模量；
 r ：光纤的节距半径； p ：绞合节距；
 a ：光纤半径； D ：硅酮凝胶的厚度。

光纤的伸长应变由方程(2)表示：

$$\epsilon_f = \frac{\sqrt{P^2 (1 + \epsilon_u)^2 + (2\pi(r-x))^2}}{\sqrt{P^2 + (2\pi r)^2}} - 1 \dots\dots\dots(2)$$

$$x = \begin{cases} u \dots\dots (u \leq D) \\ D \dots\dots (u > D) \end{cases}$$

光纤单元应变和光纤应变之差就是应变松弛效应。如果要求更大的应变松弛效应，必须增厚硅酮凝胶层或缩短绞合节距。如果采用厚的硅酮凝胶层，光缆外径就要增大；而要是缩短绞合节距，弯曲半径就变小。结果，弯曲损耗就会增加，而制造速度则下降。根据这些情况，这种光纤单元的设计参数选择如表3所示。根据这样的设计参数，应变松弛效应预计约0.2%，而0.2%的应变松弛效应可使光纤所需的筛选试验水平约下降0.6%，因此光纤的成品率就可提高。另外，采用了这种光纤单元的海底光缆将是高可靠的，因为光纤不会受到残余的光缆应变。

表3 具有应变松弛效应的光纤单元的设计参数

光纤外径(单模)	0.125 (mm)
一次被复外径	0.250 (mm)
硅酮凝胶外径	1.00 (mm)
尼龙被复外径	1.20 (mm)
中心增强元件外径	0.40 (mm)
光纤单元外径	3.75 (mm)
绞合节距	90 (mm)

五 1型光纤单元的测试结果

5.1 制造过程中的损耗变化

图6示出了一根10公里长的光纤单元在制造过程中 $1.3\mu\text{m}$ 下传输损耗变化的例子。每一步制造工艺中传输损耗的变化不到 0.03 dB/km 。

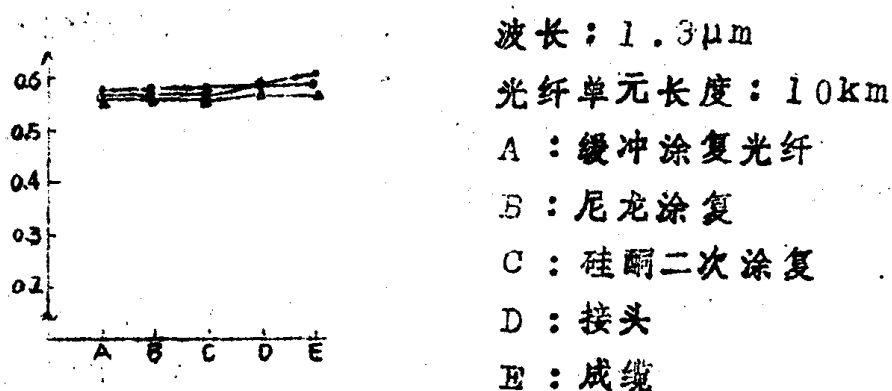


图6 1型光纤单元在制造过程中的损耗变化

5.2 温度特性

图7和图8示出了温度试验的结果，这项试验是用30公里成缆后的光纤单元进行的。传输损耗随温度的变化示于图7。光纤损耗的温度系数为 $0.2\text{ m dB/km/}^\circ\text{C}$ 。光纤应变随温度的变化示于图8。热膨胀系数为 $1.94 \times 10^{-5} \text{ \%}/^\circ\text{C}$ 。根据这些结果，传输损耗将会降低，

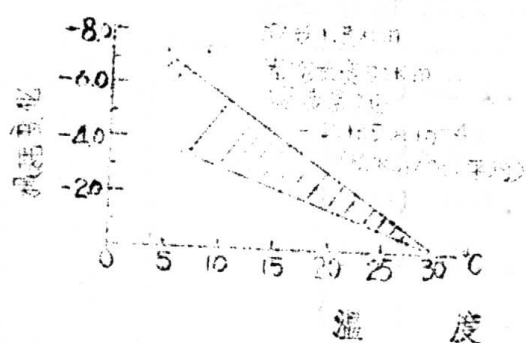


图7 成缆后1型光纤单元的
损耗-温度特性

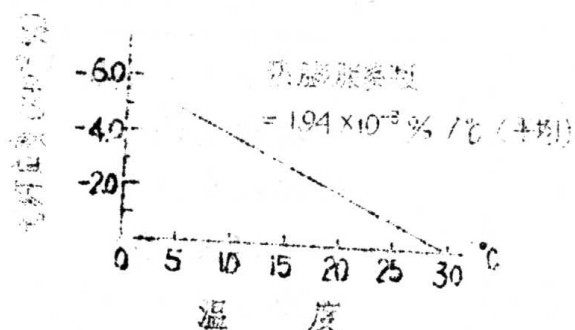


图8 成缆后1型光纤单元
的光纤应变-温度特性

而光纤在敷设后的海底光缆中将会受到压缩应变，因为海底和工厂条件之间存在温度差。

另一项试验是用80米光纤单元在低至 -60°C 的低温区进行的，而损耗变化是用该单元中的六根光纤串联起来进行的。串联起来的480米光纤的损耗变化不到0.01dB。

5.3 老化特性

1型光纤单元从刚制成单元后即已在室温条件下进行老化。光纤单元传输损耗的老化特性示于图9（略）。图中，实线表示光纤单元刚制成后的损耗谱特性；虚线则表示老化15个月之后的损耗谱特性。在15个月的老化时间内，没有观察到损耗变化。

5.4 损耗液压特性

用150米光纤单元进行了直到 50 kg/cm^2 的液压试验，并测量了单元中5根光纤串联起来的损耗变化， 50 kg/cm^2 液压下的损耗变化约为 5 dB/km 。另一次水压试验是用200米成缆后的光纤单元进行的，水压直到 800 kg/cm^2 ，用光缆中的四根光纤串联起来测量了损耗变化。在 800 kg/cm^2 下，损耗变化不到 5 dB/km 。

5.5 弯曲特性

图10示出了损耗随弯曲的变化。在弯曲试验中，六根光纤被串联起来；而将300米长的光纤单元进行弯曲。对三段光纤单元进行了评价。每个光纤单元中六根光纤参数的平均值示于图10中。根据

这一测试结果，尾巴光缆处的最小弯曲半径小于30mm。

5.6 损耗—伸长特性

伸长试验是用80米长的光纤单元进行的，并在六根光纤串联的情况下测量损耗的变化。串联起来的480米光纤在三次达到1%应变和恢复操作的伸长试验过程中，损耗的变化小于0.01dB。在这一试验之后，该光纤单元被保持在0.5%的伸长应变下12小时，而损耗变化不到0.01dB。

5.7 30公里连续长度的光纤单元

1981年成功地制成了30公里连续长度的光纤单元。其中所用的每根光纤都有1到3个接头点。接头点的保护结构不大。因此接头点处光纤单元的外径与正常的光纤单元外径相比并不大。所有光纤和接头点都通过1.0%应变的筛选试验。这一光纤单元中六根光纤的传输损耗（包括接头损耗）在1.3μm下为0.5~0.56dB/km。这根30公里的光纤单元作为第一个海洋试验系统的一部分被成缆并敷设在海中。〔9〕

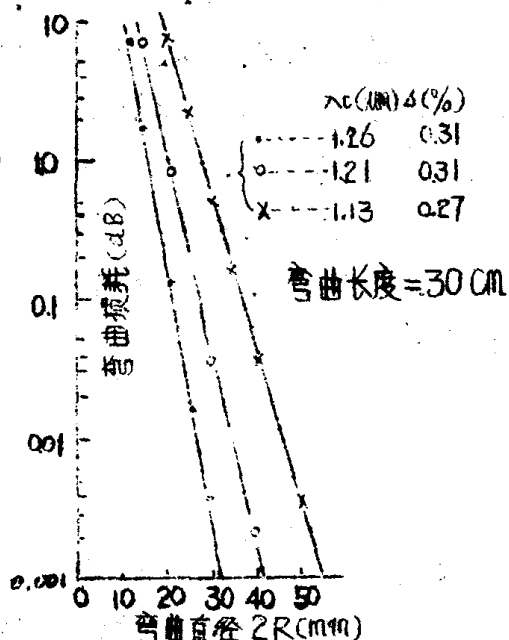


图10 光纤单元的弯曲损耗特性（1型光纤）

六 2型光纤单元的试验结果

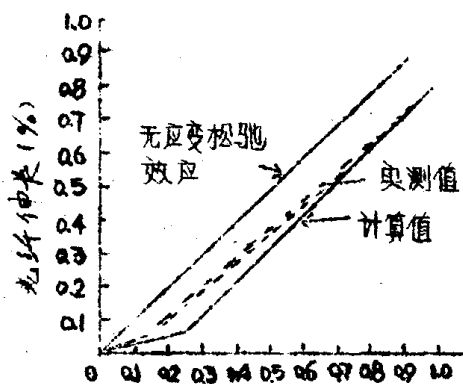
6.1 制造过程中的损耗变化

在2公里长2型光纤单元的试制中，制造过程中的损耗变化在1.3μm下为0.02~0.1dB/km。

6.2 应变松弛效应

图11示出了光纤应变和光纤单元应变之间的关系。虚线是实验

结果，实线是计算值。用一根15米长的光纤单元测量了应变松弛效应。用相位延迟法测量了光纤的伸长，测量精度小于0.01%。在低应区计算值和实验值之间的差异会因为硅酮凝胶的弹性而引起。实验性光纤单元具有0.2%左右的应变松弛效应。这个数字也表明了，光纤的应变同张力释放时的初始应变变得相同。



光纤单元伸长〔%〕

图 1.1 光纤应变和光纤单元

七 结 论

本文阐明了海底光缆用光纤单元的设计要求，并且在不同的试验条件下提出和评价了两种光纤单元。

埋入硅酮橡胶型光纤单元的结构（1型）在各种试验条件下是稳定的。不过，必须采用通过2%筛选试验的高强度光纤，所以必须解决如何获得强度这么高的大长度光纤的问题。

另一方面，用另一种光纤单元（2型光纤）将能获得大约0.2%的应变松弛效应。不过，这种光纤单元还有一些问题要解决，例如，如何确保沿光纤单元上应变松弛效应的均匀性，以及如何改善光纤单元的生产率。为这种光纤单元选择适当的材料以便在长期内保持应变松弛效应，这也是很重要的。

最近，为了得到高强度光纤已作了很多努力，从而可以期待高强度大长度的光纤。〔10〕〔11〕因此，从传输特性长期稳定性的观点出发，1型光纤单元是可取的。

秦大甲译自“International Wire
& Cable Symposium
Procs.1983” p.220~
226 曹维敏校

无金属圆柱形V槽光缆

摘要：圆柱形V槽光缆的结构特别适用于制造衰减非常低的光缆。根据对这种结构的试验，我们研制了无金属的光缆。

本文在简要地叙述圆柱形V槽光缆结构之后，介绍了可以用作增强元件的非金属材料，并且给出了无金属圆柱形V槽光缆的构成、机械特性和光学特性。

一 引言

目前，在法国已广泛采用V槽光缆结构，敷设了20000公里的光纤，其工作正常，没有发现什么问题。例如：BIARRITZ市的网络采用了10000公里以上的这种光纤。

与其它一些结构，例如管状结构相比，V槽光缆结构具有如下优点：

(1)十芯方式； (2)体积小； (3)生产简便且可靠性好； (4)整体接续方便。

此外，这种结构还具有良好的光学特性和机械特性。例如，以600dN的力在管道内拉这种光缆时，不会对光纤产生任何应力。在-40到+50℃之间，光纤的衰减变化小于0.1dB。

无金属光缆，即没有任何导电材料的光缆之作用是：能够保证线路两端之间具有良好的绝缘性能；使得光缆及连接设备不会因诸如雷电，杂散电流等电磁感应而引起性能降低。以上就是我们设计无金属V槽光缆之道理所在。

二 V槽骨架型光缆的设计

10芯V槽骨架型光缆的结构如下：

△一个圆柱形骨架，上面开十个螺旋槽，供容纳光纤之用。这个骨架是通过在中心增强元件上挤出而制成的；该中心增强元件一般采

用不锈钢绞线或镀锌钢绞线。

△外护套采用外包以高密度聚乙烯的铝管或钢管。

若是铝管，则采用树脂涂层使高密度聚乙烯与其粘牢；若是钢管，则采用共聚物（乙烯/丙烯酸）膏使高密度聚乙烯与其粘牢。

中心增强元件的作用是：

△在于使槽光缆挤出容易。用一个旋转模子来开螺旋槽。旋转模子对塑料，因而也对中心增强元件产生扭转作用。因此，中心增强元件应具有较高的扭转模量，这样可获得很规整的挤出。

△在于能使比槽长的光纤插入槽内。具体的余长视光缆的类型而定。获得余长的方法是，在光纤置入槽内时拉伸骨架；一旦不拉，就得到余长。

△在于减小V槽骨架和中心增强元件（两个单元作为一个组件整体）之热膨胀系数。

表示热膨胀系数的关系式为

$$\alpha = \frac{\sum E_i S_i \alpha_i}{\sum E_i S_i}$$

式中： α —组件整体的热膨胀系数；

E_i —每个单元的杨氏模量；

S_i —每个单元的截面；

α_i —每个单元的热膨胀系数。

因此，中心增强元件应具有高的杨氏模量和低的热膨胀系数。

光缆的外护套应具备下列特有的性质：

△能使光缆在敷设时受到保护，避免不可回复的伸长，因而应具有高的抗压强度和抗张强度；

△为使光纤不受较大的温度变化的影响，外护套应具有较低的热膨胀系数。

此外，外护套的增强元件也应具有较高的杨氏模量和较低的热膨胀系数。

三 非金属增强材料的特性

上节我们叙述了对增强元件材料之要求。现在对玻璃纤维、芳香族聚酰胺纤维、拉伸的热塑料纤维作专门的研究。

1. 材料叙述

(1) 玻璃纤维材料

市场上可以提供两类玻璃纤维：“Sillionne”和“verranne”。“sillionne”是完整连续的纤维，而“verranne”是绞合的线束，前者的抗张强度比后者的大得多。

纤维可以由E玻璃（硼硅酸盐）或S玻璃（铝硅酸盐）制成。S玻璃的杨氏模量虽然E玻璃高18%，但很少用于补强塑料。S玻璃较E玻璃昂贵。

市销的“sillionne”的形式不一，有粗纱的（平行纤维束），也有绞和编的纺织细丝。可以将很多细丝浸渍于橡胶乳液而使其粘牢。

对浸渍过的聚酯或环氧树脂的粗纱进行拉丝，从热模中出来后，就会有60%到80%的玻璃刚性结构。这类结构具有低的热膨胀系数，高的抗张强度和抗弯曲强度。

(2) 芳香族聚酰胺纤维材料

芳香族聚酰胺纤维，如KEVLAR(DU PONT公司的注册商标)是人所共知的。出售的形式可以是粗纱、绞线或绳子。一般将其用适应性强的聚氨基甲酸酯进行浸渍，以增加耐磨程度。

因为各个单元的特性不同，看来很难得到在拉伸其物理特性满足要求的刚性结构。

(3) 拉伸的热塑料单纤维

由聚丙烯、高密度聚乙烯、聚酯或聚酰胺拉制出的纤维，所具有的机械特性比材料本身还要好。

拉伸此从6到12。拉伸温度取决于材料。为使尺寸稳定性好，则进行退火。

市场上最常见到的是拉伸的聚酰胺单纤维。有些公司研制聚酯和低密度聚乙烯纤维，供本单位应用。遗憾的是，所有这些纤维的杨氏

模量都较低。

2 材料的特性

表1为上节所述的材料的特性和钢的特性之比较。

虽然玻璃纤维的杨氏模量较低，但其热膨胀系数比一般所用的钢的热膨胀系数要低。因此，看来可以用玻璃纤维作光缆的增强元件。塑料单纤维的杨氏模量很低。

表 1

材 料	比重 g/cm^3	杨氏模量 10^3 daN/mm^2	线热膨胀系数 $10^{-7} 1/k$
钢	7.86	20	130
E 玻璃纤维	2.54	7.3	8
S 玻璃纤维	2.48	8.6	8
Kevlar 49	1.45	13	-20(*)
Kevlar 29	1.44	6	-20(*)
单纤维：			
聚 酯	1.38	1.5	—
低密度聚乙烯	0.96-0.98	1.6	—
聚 酰胺		0.19	

* 残余约束材料

数据列于表1的复合材料已经研制出来，其直径从1.2到1.5mm不等。研究了上述材料作V槽骨架中心增强元件的机械特性及制作的可能性问题。

表2列出了这些复合材料拉伸0.2%后的剩余伸长率及杨氏模量。

表 2

种 类	材 料	直径 mm	杨氏模量 10^3 daN/mm^2	拉伸 0.2% 后剩余伸长 率 (%)
不锈钢绞线	不锈钢	1.2	17	0
浸渍过的玻璃粗纱 绞线	玻璃/聚氨基 甲酸酯	1.22	2.85	0.023
浸渍过的玻璃粗纱	玻璃/聚酯	1.35	5.95	0
KEVLAR29 粗纱 绞线	KEVLAR29/ 聚氨基甲酸酯	1.5	3.4	0.015
KEVLAR29 绳	同 上	1.4	3.0	0.022
KEVLAR49 粗纱 绞线	KEVLAR49/ 聚氨基甲酸酯	1.35	4.55	0.024
KEVLAR49 绳	同 上	1.35	4.5	0.025
拉伸过的聚酰胺单 纤维		1.2	0.2	0.1

3. 研制情况

表2所述的复合材料已研制成功，并用作V槽骨架的中心增强元件。记录了槽的直径、节距和剖面等参数。

绞线或绳状的复合材料并不能提供有规则的槽距。扭转模量太低，而且骨架会因转模而转动。此外，纵向压缩强度太低，以致在冷却时不能避免热塑性塑料（聚烯烃类）的收缩。因此，就发生直径变化。

玻璃/聚酯复合骨架的刚性较好，是一种能制成高质量的V槽骨架的最好材料。这种材料具有最好的杨氏模量，剩余伸长率为零，热膨胀系数较低，因此，已经选择这各材料作无金属光缆的增强元件。